Aus dem physiologischen Institut der Universität zu München

Direktor: Professor Dr. Broemser

Die Mechanik des Kauens

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

H. Herkenroth

Sessenhausen (Westerwald)

München 1939

DRUCK: LENGERICHER HANDELSDRUCKEREI, LENGERICH (WESTF.)

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Dezember 1939

Referent: Professor Dr. Hahn

Dekan: Professor Dr. Dabelow

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Meinen lieben Eltern gewidmet!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548311_0191

Um die komplizierten Vorgänge des Kauens zu verstehen, glaube ich, daß es notwendig ist, zuerst einmal die Werkzeuge auf ihren Bau und ihr funktionelles Verhalten hin zu untersuchen, d. h. also, den Kauvorgang in seine einzelnen Bewegungen zu zerlegen, um dann aus dem Zusammenwirken der so isoliert dargestellten Funktionen ein geschlossenes Bild über den Kauvorgang zu erhalten. Welche Teile sind nun unmittelbar an der Kautätigkeit beteiligt? Es sind der Ober- und Unterkiefer, die an ihnen ansetzenden Muskeln, die Zähne und das Kiefergelenk.

Die Kiefer.

Zunächst wäre die funktionelle Bedeutung der Kiefer zu untersuchen. Anatomisch gesehen sind der Ober- und der Unterkiefer zwei ganz verschiedene Knochen, deren Bedeutung jedoch nur aus dem funktionellen Zusammenarbeiten der beiden Kiefer zu verstehen ist. Ihre Funktion ändert sich in den verschiedensten Lebensaltern, wie sie ja auch anatomische Verschiedenheiten bei Funktionsänderungen aufweisen. Wir können drei Stadien unterscheiden. Einmal vor der Zahnung, dann die Kiefer auf der Höhe ihre Funktionstüchtigkeit, d. i. die Zeit, in der alle Zähne durchgebrochen und vorhanden sind, schließlich die Zeit, in der die Zähne ganz oder teilweise verloren gegangen sind. Es soll vor allem das Verhalten der Kiefer zur Zeit ihrer vollen Leistungsfähigkeit untersucht werden. Während der Oberkiefer fest mit dem Gesichtsskelett verbunden ist, zeigt der Unterkiefer freie Beweglichkeit und eine bedeutend größere Festigkeit. Hier ist jedoch zu berücksichtigen,

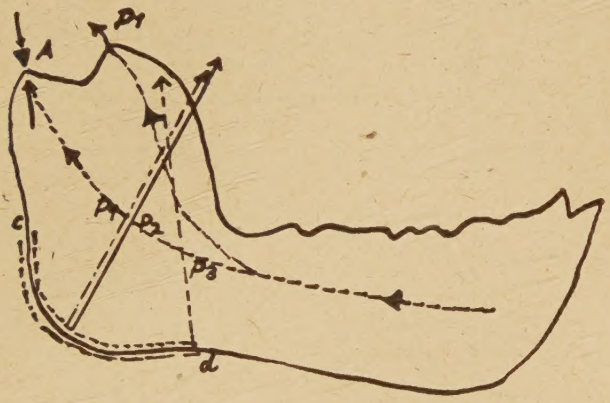
daß der Oberkiefer die auf ihn einwirkenden Kräfte nicht allein auffängt, sondern sie auf seine Umgebung weiterleitet, und weiterhin setzen am Unterkiefer mehr Muskeln an als am Oberkiefer, die auch bedeutend kräftiger sind. Mag auch der Oberkiefer durch die großen Spongiosamassen einen grazilen Eindruck machen, so weiß man doch, daß die Spongiosabälkchen eine Anordnung zeigen, die mit statischen und teilweise auch dynamischen Aufgaben in Beziehung stehen. Außerdem wird durch ein Pfeilersystem eine große Zertrümmerungsfestigkeit erreicht, die nach Wetzel und Schröder (36) bei der Annahme eines mittleren Kaudrucks von 70 bis 80 kg die 80- bis 90fache Beanspruchung verträgt. Die ersten Untersuchungen über die Festigkeit der Kiefer, die Walkhoff (33) mit Röntgenstrahlen durchführte, führten zu der Annahme, daß die Festigkeit auf der Spongiosa beruhe. Erst die Untersuchungen von Winkler (38) klärten den Sachverhalt voll. Winkler ging davon aus, daß auch die Kompakta keine einheitliche Masse darstelle, da sie von den Haversschen Kanälen durchzogen wird, um die sich die Haversschen Lamellensysteme konzentrisch lagern. Hinzu kommen noch die Generallamellen, die die innerste und äußerste Schicht der Kompakta ausmachen. Auch noch Barth (2) war der Ansicht, daß die trajektoriellen Linien, die sie bei der Oberkieferuntersuchung fand, auf die Spongiosa zurückzuführen sei. Wie Winkler berichtet, bemerkte Bluntschli, unter dessen Leitung Barth ihre Untersuchungen machte, schon damals, daß sich auch dort trajektorielle Linien fanden, wo die Spongiosa spärlich war. Auf seine Anregung hin übernahm Winkler die Arbeit. Als Untersuchungsmaterial wählte er den Unterkiefer von Cebus macrophephalus. Er fertigte zuerst einmal Schnitte an und wies damit nach, daß sich nicht überall Spongiosa befindet, wo Walkhoff und Barth trajektorielle Bahnen fanden. Weiter sägte er den Unterkiefer in der Längsrichtung durch und fräste alle Spongiosa heraus. Die Röntgenbilder dieser Platten zeigten trotzdem trajektorielle Linien.

Somit steht also fest, daß die Trajektorien zum größten Teile auf die Haversschen Lamellensysteme zurückzuführen sind und nicht auf die Spongiosa. In derselben Arbeit lieferte Winkler auch den Beweis der funktionellen Bedeutung der Trajektorien der Kompakta.

Wie aus den späteren Ausführungen noch hervorgeht, wird das Corpus mandibulae auf Zug und Druck beansprucht. Durch die Konstruktion der Haversschen Systeme und der

Einlagerung von Markräumen ist dem Verbiegen nach unten vorgebeugt.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, ist der Verlauf der Trajektorien im Ramus scendens nicht so einfach. Zur Verdeutlichung der angreifenden Kräfte diene untenstehende Abbildung.



Figur 2

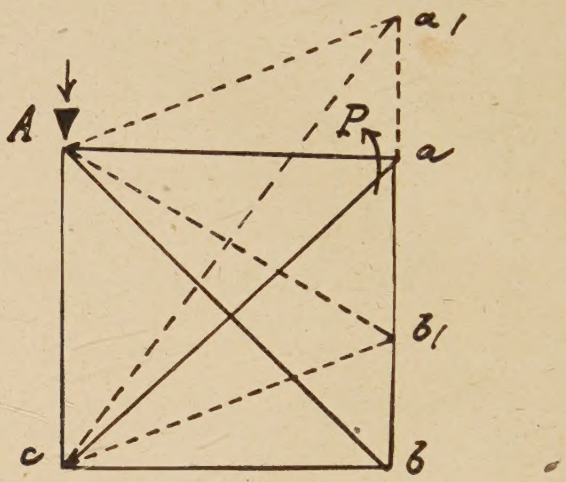
(nachgezeichnet nach Winkler)

P_1 = Kraft des Musc. temporalis
P_2 = Kraft der äußeren Schicht des Musc. masseter
P_3 = Kraft der inneren Schicht des Musc. masseter
P_4 = Kraft des Musc. pterygoideus internus.

P_1 ist die Kraft des Musc. temporalis, die als Zugkraft auf den Kiefer wirkt. Sie wird in a aufgenommen und in der Verlängerung ihre Richtung a bis b weitergeleitet. Da P_1 und der Widerstand bei A, den das Gelenk bietet, gegeneinander wirken, findet hier eine Druckbeanspruchung statt. Ein weiteres Lamellensystem verläuft zum Proc. cornoideus vom Angelus aus. Seine Notwendigkeit erklärt sich aus folgender Überlegung: Faßt man den aufsteigenden Ast als ein Viereck auf, dessen Seiten gelenkig miteinander verbunden sind, wobei der Punkt A fest ist, so greift die Kraft P_1 an a an. Dadurch wird das Viereck A a b c in das Viereck A a,

b, c verwandelt. Dieser Formveränderung tritt das erwähnte Lamellensystem entgegen.

Die Kräfte P_2, P_3 und P_4 werden durch die Gewölbewirkung von c—d (Fig. 2) zum Teil nach c und von hier weiter nach A geleitet. Diese Kraft wird durch den Widerstand bei A eine Druckkraft. Der Vergleich mit Fig. 1 zeigt



Figur 3

(nachgezeichnet nach Winkler)

ein starkes Bündel Haversscher Kanäle. Die Untersuchungen wurden später von Benninghoff (3) bestätigt. Er ging auf einem anderen Wege vor. Er machte Ahleneinstiche in die Knochen völlig entkalkter Schädel und zeigte die an verschiedenen Stellen hauptsächlich vorhandene Spannungsrichtung im Knochen. Diese Untersuchungen tuen alle dar, daß die Struktur der Knochensubstanz der Kiefer in aller engster Beziehung zur Kieferbeanspruchung steht. Diese Struktur der Knochen gewinnt jedoch erst bei dem Zusammenwirken der beiden Kiefer Bedeutung. Die Achsen der Zähne des Oberkiefers sind etwas nach außen geneigt. Ihre Wurzeln neigen sich also annähernd konzentrisch einander zu. Etwa in der Gegend der Wurzelspitzen zeigt sich im Oberkiefer eine feine Einschnürung. Hier findet eine Ansammlung der auf den Oberkiefer einwirkenden Kräfte statt, die von hier aus auf das Pfeilersystem übertragen werden,

durch das der Oberkiefer entlastet wird. Im Gebiete der Eckzähne und seitlichen Schneidezähne findet man einen Pfeiler, der die Kräfte auf die knöcherne Stirn und Nase überträgt. Der Druck, der auf das Seitenzahngebiet trifft, wird vorerst einmal auf das Jochbein gelenkt, und pflanzt sich dann zum größten Teile auf die Schädelbasis und die Stirn fort, während ein kleiner Teil der Kräfte in die Bahnen der Schneide- und Eckzahnabstützungen verläuft. Denkt man sich die Gegend der Wurzelspitzen, also den Sitz der ersten Kraftansammlung, parallel dem Alveolarfortsatz verlängert, so haben wir einen dritten Pfeiler, der die auf ihn treffenden Kräfte auf die Schädelbasis ablenkt.

Im Unterkiefer haben wir dagegen umgekehrte Verhältnisse bezüglich der Achsenneigung der Zähne. Hier sind die Zähne, mit Ausnahme der Frontzähne, nach innen gekippt und somit die Wurzeln nach außen. Auch hier ergibt sich ein Kraftbogen, der nur wesentlich verbreitert ist. Die beiden Kraftzentren, ihre verschiedene Anordnung, die entgegengesetzte Neigung der Zähne im Ober- und Unterkiefer und schließlich die Tatsache, daß wir im Oberkiefer eine konvexe, im Unterkiefer eine konkave Kauebene haben. All das findet seine Erklärung in der Druckübermittlung bei Kauen.

Das Kiefergelenk.

Die Bewegungen der Kiefer zueinander geschehen im Kiefergelenk, das ein Kombinationsgelenk darstellt. Das Gelenk hat die Möglichkeit, die folgenden Bewegungen auszuführen: Bewegung nach abwärts und aufwärts, Vor- und Rückwärtsbewegung und seitliche Drehung. Durch den Diskus wird das Gelenk in zwei Teile zerlegt. An den direkten Berührungsstellen von Kondyl und Tuberkulum legt sich der Diskus papierdünn zwischen beide und füllt mit seiner Hauptmasse die Lücken, die beim Auseinanderweichen der Gelenkflächen entstehen, aus. Dadurch gewährt er den Bewegungen eine erhöhte Sicherheit. Die eigentliche Gelenkpfanne stellt also der Diskus dar, da er die Bewegung des Unterkiefers mitmacht. Die Kiefer werden durch den Luftdruck in Ruhestellung gehalten. Das Öffnen des Mundes ist eine Doppelbewegung. In der oberen Gelenkabteilung wird der Meniskus nach vorne gezogen. Im unteren Gelenk dreht sich der Kondyl. Die Drehung des Kiefers geschieht um eine im Raum fortschreitende Achse. Sie beginnt im oberen Gelenk. Das Vor- und Rückwärtsbewegen ist eine reine Schubbewegung,

die nur in der oberen Abteilung des Gelenkes vor sich geht durch Verschieben des Diskus. Der Kondyl im unteren Gelenk dreht sich dabei nicht. Beim Vorschieben wird der Unterkiefer durch Muskelzug an den Oberkiefer gedrückt. In demselben Grade als die Köpfchen auf den schiefen Ebenen emporsteigen, schieben sich die unteren Zähne mit ihren Höckern auf die Höcker der oberen Zähne, die unteren Vorderzähne über die oberen Vorderzähne. In der letzten Phase sind die Backen- und Mahlzähne nicht mehr in Berührung, die Kondylen sind auf der höchsten Stelle der Tuberkula angekommen. Geben die oberen Eckzähne durch eine nicht zu große Kronenlänge kein Hindernis ab, so treten dann die Vorderzähne außer Kontakt und der Unterkiefer schiebt sich entsprechend dem horizontalen Teil des Tuberkulums auf den Molaren und Prämolaren weiter vor, soweit es der Bandapparat erlaubt. Die Seitwärtsbewegung des Unterkiefers ist immer mit einer verschieden starken Öffnungsbewegung verbunden. Stehen die Kondylen auf den schiefen Ebenen der Tuberkula und der Unterkiefer erfährt eine Drehung, so dreht sich der Kondyl, nach dem hin die Bewegung erfolgt, um seine Achse und wird dabei etwas nach rückwärts verschoben. Ähnlich wie bei der Schiebebewegung findet der Unterkiefer auch bei der reinen Drehbewegung aus seiner Ruhelage heraus an den Zähnen die führende Ebene solange die Bewegungen in den Bahnen des Artikulationsbereiches bleiben, d. h. solange die Öffnungsbewegung nicht größer ist, als der vertikale Schneidezahnüberbiß. Dem Bandapparat, der sich am Kiefergelenk bildet, kommt wohl nur eine Bremswirkung zu.

Die Zähne und ihr Verhalten in Okklusion und Artikulation.

Wenn man den Aufhängeapparat der Zähne betrachtet, so findet man, daß der Zahn nicht nur durch Faserbündel, die von schräg oben nach unten verlaufen, und so den Zahn gegen das Hineindrücken in die Alveole sichern, befestigt ist, sondern daß auch Aufhängefasern in entgegengesetzter Richtung verlaufen, die ein Heraustreiben aus der Alveole verhindern. Untersuchungen von Gebhardt (14) ergaben, daß das Wurzeldentin dichter ist, als das Kronendentin. Und daß die Stärke des Bandapparates mit der Beanspruchung des Zahnes wächst. Piette (24) fand dann, daß an der Wurzelspitze selbst der Aufhängeapparat fehlt. Hier findet sich nur weiches, saftreiches Material. Durch die beschriebene Auf-

hängeapparatur wird die Wurzelspitze vollständig druckentlastet, sodaß beim Kauen keinerlei Schädigung der in die Pulpa eintretenden Nerven und Gefäße entsteht. Durch den Druck beim Kauen entstehen im Knochen Spannungen, die wie auch die zusammengepreßten Gewebssäfte des Periodontiums das Bestreben haben, den Zahn aus der Alveole zu treiben. Die Einwirkung dieser Kräfte erklärt die Sicherung des Zahnes gegen ein Heraustreiben aus der Alveole. Untersuchungen über die Form der Zahnbögen haben ergeben, daß der Bogen des Unterkiefers eine viel konstantere Form aufweist, als der des Oberkiefers, was darauf hindeutet, daß die Kraft vom Unterkiefer auf den Oberkiefer übertragen wird. In der Ruhestellung sind die beiden Zahnreihen etwas, wenn auch nur wenig von einander entfernt. Bei Berührung der beiden Zahnreihen sprechen wir von einer Okklusionsstellung. Dieser Okklusionsstellungen gibt es unendlich viele und sie sagen nichts oder besser gesagt, sie sagen nicht viel über die Funktionstüchtigkeit eines Gebisses beim Kauen aus. Hier ist die Artikulation maßgebend, die keine Ruhelage bezeichnet, sondern eine Bewegung ist. Und zwar eine Bewegung von einer Okklusionsstellung in die andere. Was wird nun von einer guten Artikulation gefordert? Es soll eine sog. Schlittenartikulation vorhanden sein, d. h. es sollen möglichst viele Zähne in Berührung sein beim Übergang von einer Okklusionsstellung in die andere. So erst ist es möglich, die Kräfte, die in der anatomischen Form der Zähne liegen, voll auszunutzen (Gysi [15]). Auf die Mahlbewegungen, die beim Kauen die Hauptrolle spielen, hat besonders die Artikulation im Seitenzahn und Molarengebiet Einfluß. Die Zähne stehen so in den Kiefern, daß die buccalen Flächen der oberen Zähne über die unteren reichen und die lingualen Flächen der unteren die pallatinalen der oberen Zähne etwas überragen. Dies Verhalten führt dazu, daß die pallatinalen Höcker der oberen Seiten- und Mahlzähne in Querfissur der unteren beißen, während die buccalen Höcker der unteren Zähne in die Querfissur der oberen eingreifen. Wie schon eingangs erwähnt, stehen die unteren Zähne etwas nach innen geneigt, während die Achsenrichtung der oberen umgekehrt ist. Dadurch erfahren die Kraftlinien bei der Druckübertragung an den Zahnkronen eine Doppelbrechung, da die Kraftübermittlung infolge der Artikulation vollständig vertikal ist.

Dadurch, daß jeder Zahn des Oberkiefers mit Ausnahme des Weisheitszahnes mit zwei aus dem Unterkiefer in Kon-

takt tritt (Wetzel [37]), wird das Spiel des Ineinandergreifens von Höcker und Fissuren erst ins Feinste geregelt. Je mehr Höcker, besser gesagt, je besser die Höcker ausgeprägt sind, desto gründlicher werden die Mahlbewegungen sein. Hierbei ist natürlich eine einwandfreie Artikulation Voraussetzung, da ja andernfalls die Höcker nur störend wirken würden.

Öffnungs- und Schließbewegung.

Als Kräfte beim Öffnen des Mundes wirken die Mm. pterygoidei externi, die Mundbodenmuskulatur in Abhängigkeit mit den Muskeln, die das Zungenbein feststellen (Wetzel [37]). Als nicht muskuläre Kraft haben wir außerdem noch die eigene Schwere des Unterkiefers und seiner Weichteile, die selbstverständlich nur bei aufrechter Kopfhaltung wirkt. Diese Ansicht von Wetzel war keineswegs immer vorhanden. Henke (17) sah in der Öffnung der Kiefer ein fast reines Herabfallen des Unterkiefers, das durch die Halsmuskulatur unterstützt wird. Testut (30) schreibt dem Pterygoideus externus nur Mithilfe bei der Vor- und Seitwärtsbewegung des Unterkiefers zu. Auch Hoffmann (19) und Rauber kommen bezüglich des Musculus pterygoideus externus zu derselben Auffassung. Sie sind der Ansicht, daß der M. digastricus und Mylohyoideus die Öffnungsbewegung herbeiführen. Luschka (21), Zuckerkandl (40) und Riegmer (26) sind die ersten, die dem Pterygoideus externus als Öffner ansprechen. Chaim Chissin (6) klärte dann die so widersprechenden Angaben. Sein Verdienst ist es, nicht von theoretischen Überlegungen ausgegangen zu sein. Er konstruierte einen Apparat, der es ihm ermöglichte, die Bahn aufzuzeichnen, die der Unterkiefer bei der Öffnungsbewegung beschreibt. Die Apparatur entspricht in etwa einem Gesichtsbogen, den der Prothetiker benutzt, um die Lagebeziehung der Kiefer zueinander festzustellen. Die Aufzeichnungen ergaben, daß die Senkungsdrehung des Unterkiefers nicht um eine einzige fixe Achse stattfindet. Im Anfang der Kieferöffnung liegt die Achse hinter dem oberen Teile des Unterkieferastes, im Endteil der Öffnungsbewegung aber liegt die Achse in der Gegend vor dem Tuberkulum.

Der Massenmittelpunkt der ganzen bei der Öffnungsbewegung des Unterkiefers zugleich mit diesem bewegten Masse liegt etwa auf einer Querlinie, die zwei Punkte nahe vor und über dem Kieferwinkel verbindet, da ja der Masseter

und der Pterygoideus internus nur etwa mit der Hälfte ihrer Masse der Bewegung des Kieferwinkels folgen. Bringt man nun diesen Massenmittelpunkt in Beziehung zur Mundbodenmuskulatur und zum Gelenk, so ergibt sich als Achsenkomponente eine Kraft, die den Kondyl nach hinten oben preßt, d. h. in die Gelenkpfanne hinein. Also kommen die Mundbodenmuskeln allein nicht in Frage bei der Öffnungsbewegung. Die Schwere des Unterkiefers ruft eine Translationsbewegung des völlig freigedachten Unterkiefers hervor. Zerlegt man aber auch die Schwerewirkung in eine Kraft, die den Kiefer ohne Achsenwirkung um das Gelenkende dreht, und in eine Achsenkomponente, so wirkt die Achsenkomponente nach unten und etwas nach vorne. Die Achsenwirkung der Mundbodenmuskulatur und der Schwere können sich also mehr oder weniger aufheben. Es muß also eine andere Kraft entscheidend mitwirken. Chissin konnte nun an Leichen, bei denen die Todesstarre noch nicht eingetreten war, einwandfrei den Musc. pterygoideus externus als die entscheidende Kraft nachweisen. Auch als er den Muskel durch einen Fadenzug ersetzt hatte, hatte sein Experiment denselben Erfolg. Es bleibt trotzdem zweifelhaft, ob der Musc.-Pterygoideus externus allein genügt, um die Öffnungsbewegung herbeizuführen. Die Mundbodenmuskulatur kann die Kiefer öffnen, indem die Kondylen in dem hinteren Teile der Pfannen verbleiben, ja stärker nach hinten oben gedrängt werden. Der Kieferast würde dabei mit allen Punkten seines hinteren Randes rückwärts gehen, der Kieferwinkel sich nach hinten in die Weichteile drängen und vielleicht würden schließlich die Kondylen nach vorne ausweichen, wenn die Hemmung der Rückwärtsbewegung fast absolut wäre. Die Druckwiderstände, die bei einer solchen Bewegung auftreten, wären jedoch zu groß. Ganz anders wird jedoch das Bild, wenn die bisherigen Kräfte sich mit der Kraft des Pterygoideus externus kombinieren. Wir erhalten:

1. Eine Summation der Drehwirkungen um den Maßenmittelpunkt im Sinne der Öffnungsdrehung.
2. Als Resultat der translatorischen Einwirkung eine Wirkung nach unten, die durch die Schwere verstärkt wird.

Die obere Portion des Pterygoideus externus bewirkt beim Öffnen die aktive Bewegung des Diskus. Bei der Schließbewegung dagegen haben wir keine aktive Verschiebung des Diskus, sondern die Muskelkräfte, die die schließende Drehung der Kondylen herbeiführen, bewirken auch die Rückverlagerung des Diskus. Beim Schließen werden die Kondylen nach hinten

und oben geschoben bis die Zähne irgendeine Okklusionsstellung eingenommen haben. Bei unbelastetem Kieferschluß treten vor allem die Mm. temporales in Aktion, wobei der Pterygoideus eine Bremswirkung aufweist, um das Überschreiten der Ruhelage zu verhindern. Bei Kraftanstrengungen, d. h. beim mahlenden Kauen treten jederseits Pterygoideus internus und Masseter in Tätigkeit. Hierbei fällt dem Temporalis die Aufgabe zu, die Geschwindigkeit zu regeln. In neuester Zeit spricht Fabian (10) dem Mylohyoideus eine große Bedeutung bei der Öffnungsbewegung zu. Er geht sogar so weit, der hinteren Partie des Mylohyoideus eine Art Subluxationsbewegung zuzusprechen. Dem gegenüber stehen aber auch heute noch immer die exakten Untersuchungen von Chissin. Die verschiedenen Ansichten in dieser Frage ergeben sich daraus, daß einmal die Beobachtung am Skelett, ein andermal an der Leiche gemacht wurde. Die besten Ergebnisse liefert ohne Zweifel die Beobachtung an Lebenden, was auch schon früh von vielen erkannt wurde. Diesen Untersuchungen stehen jedoch große Schwierigkeiten entgegen, da die Kondylen von Weichteilen umgeben sind, die eine exakte Beobachtung nicht zulassen. Auch die Beurteilung von Röntgenbildern bietet Schwierigkeiten, da die Übereinanderprojektion bei Schädelaufnahmen Feinheiten nur sehr schwer erkennen läßt.

Die Vor- und Rückschiebebewegung.

Bei leicht geöffneten Kiefern läßt sich der Unterkiefer etwa in einer Breite von 1 bis 1½ cm nach vorne verschieben und ganz gering auch nach rückwärts. Diese Bewegungen haben jedoch für das Kaugeschäft keine Bedeutung, da sie außerhalb des Artikulationsbereiches stattfinden. Nur die Verschiebungen innerhalb des Artikulationsbereiches haben für die Nahrungsaufnahme Bedeutung, nämlich für das Abbeißen. Hier geht dem Vorschieben immer eine Öffnungsbewegung voraus, die den vertikalen Schneidezahnüberbiß überwinden muß. Es treten dann die Schneidezähne in Kopfbißstellung und führen dadurch zur Einklemmung des Bissens, den sie beim Zurückschieben des Unterkiefers durch das Vorbeigleiten der labialen Flächen der unteren Schneidezähne an den pallatinalen Flächen der oberen abscheren. Auch bei den Mahlbewegungen spielt das Vor- und Zurückschieben des Unterkiefers eine Rolle.

Wallisch (34) nahm an, daß es sich dabei allgemein um eine Parallelverschiebung des Unterkiefers handelte. Diese Annahme ist unrichtig, wenigstens ihrer Verallgemeinerung, denn Vergleiche zeigen, daß der Krümmungsgrad der Gelenkhöcker individuell verschieden ist, ja bei dem einzelnen Individuum ändert sich im Laufe der Jahre sogar der Krümmungsgrad. Damit eine Parallelverschiebung zustande kommt, muß die Krümmung der Gelenkhöcker und die vordere Schneidezahnführung in einer bestimmten Beziehung stehen, die aber selten beobachtet wird. In den meisten Fällen tritt in der unteren Gelenkkammer eine Rotation ein. Eine Parallelverschiebung des Unterkiefers ist dann vorhanden, wenn bei einem flachen Tuberkulum eine flache, bei einem stark gekrümmten Tuberkulum eine entsprechend konvexe Okklusionskurve vorhanden ist.

Die Seitwärtsbewegung.

Beim mahlenden Kauen kommt hauptsächlich die Seitwärtsbewegung des Unterkiefers in Frage, die darin besteht, daß sich der Unterkiefer in den drei Richtungen des Raumes verlagert. Die vorher horizontale Kaufläche des Unterkiefers wird dabei in Schräglage gebracht und etwas nach vorne geneigt, sodaß die beiden Kondylen nicht mehr eine Höhe einnehmen. Der Kondyl, nach dessen Seite hin die Bewegung erfolgt, erfährt dabei keine große Verschiebung. Dagegen ist der Weg des anderen um so beträchtlicher. Aus diesen Gründen spricht man von einem ruhenden und einem wandernden Kondyl. Dabei ist der Begriff der Ruhe nur relativ aufzufassen. Der wandernde Kondyl tritt mit seinem Diskus bei der Seitwärtsbewegung nach vorne unten unter das Tuberkulum. Die Bahn des Köpfchens beschreibt dabei ungefähr eine Bahn, die dem Ausschnitt aus einer weit gewickelten Spirale entspricht, deren Achse fast senkrecht durch das Zentrum des ruhenden Kondyls geht. Bestünde kein Tiefertreten des wandernden Kondyls, so wäre die Seitwärtsbewegung eine einfache Kreisbewegung um eine senkrechte Vertikalachse des ruhenden Kondyls. Aber in Wirklichkeit ist es nicht so, denn beim Säugling, bei dem das Tuberkulum noch nicht ausgebildet ist, finden sich andere Verhältnisse. Bei ihm erfolgt die Seitwärtsbewegung durch beiderseitige und nur auf beiden Seiten ungleich ergiebige Gleitung. Aber auch hier haben wir es mit keiner festen Achse zu tun. Mit der Ausgestaltung der Zähne wird die Seitwärtsbewegung

eingeengt. Das variable Flächengleiten nach den Seiten wird zu einer dreidimensionalen Bewegung. Entscheidend hierfür ist die Ausbildung einer besonderen Führung. Nämlich der Schneidezahnführung vorne und der Ausbildung der Tuberkula hinten. Obwohl dadurch besonders die Bewegungen des ruhenden Kondyls getroffen werden, so wird er doch niemals ein absolut ruhender, d. h. er dreht sich nie um sein eigenes Zentrum. Man hat lange nach einem Zentrum gesucht, aber es existieren fast soviele Ansichten darüber wie Autoren. Fehr (11) dagegen bekämpft ganz radikal all diese Ansichten. Er spricht von einer nach allen Seiten des Raumes freien Verschiebungsmöglichkeit der Köpfchen und der Kondylenquerachse. Seine Ansicht konnte sich jedoch nicht durchsetzen. Es gibt wohl keine konstante Drehachse, sondern wir haben Momentanachsen, die während des Ablaufes der Bewegung ihre Richtung verändern. Im Anfang der Zerkleinerung des Bissens wird entweder beiderseitig oder abwechselnd bald auf der einen bald auf der anderen Seite gekaut. Erst gegen Schluß zu fällt die Arbeitsleistung einer Seite zu und zwar der des ruhenden Kondyls. Die andere Seite wird im Gegensatz zur Arbeitsseite als Balanceseite bezeichnet. Durch das abwechselnde Benutzen beider Seiten ergibt sich für die Höcker des Seitenzahngebietes die Forderung, nicht nur kein Hindernis zu bieten, sondern die Bewegungen möglichst gut auszunützen. Wie kommt es nun zu diesem Verhalten der Höcker, da ja die Höcker noch vor Durchbruch der Zähne ausgebildet sind? Da die Krone eine größere Breite zeigt als der Zahnhals, an dem später der feste Abschluß zur Alveole hin stattfindet, ist der Zahn sofort nach dem Durchbruch ziemlich verschieblich, was noch durch das nichtabgeschlossene Wurzelwachstum begünstigt wird. Die feineren Korrekturen finden dann später durch Abschliff der Höcker statt. Dies Einschleifen wird immer nur mehr oder weniger vollkommen stattfinden. Hier liegt auch wohl der Grund, daß die Ansichten über das Rotationszentrum auseinandergehen. Die Hauptkraft, die bei der Seitwärtsbewegung wirkt, ist der Pterygoideus externus und zwar sein unterer Bauch, der den Kondyl gleichzeitig nach unten und vorne führt. Es wirkt immer die Muskulatur der Balanceseite. Die Rückführung in die Schlußbißlage fällt dem Temporalis zu. Fick (12) schreibt auch dem hinteren Digastrikusbauch hierbei eine Mitwirkung zu. Bei Belastung wirken bei der Rückführung in die Schlußbißlage der Pterygoideus internus und der Masseter mit (Riegner [26]).

Auf Grund vergleichender anatomischer Untersuchungen kam Worthmann (39) zu ähnlichen Ergebnissen über die Beteiligung der Muskulatur.

Die Nahrungsaufnahme und die Verarbeitung des Bissens.

Nur flüssige Nahrungbestandteile werden ohne weiteres geschluckt. Alle anderen dagegen werden mehr oder weniger intensiv gekaut. Der Kauakt hat hier nicht nur den Zweck der Nahrungszerkleinerung, sondern auch des Einspeichelns der Nahrung. Außer der mechanischen Auflösung wird also auch schon die chemische Auflösung der Nahrung beim Kauen eingeleitet. Die Kaufunktion hat eine große Bedeutung für die Ausnützung der Nahrung. Ganz besonders gilt dies für die vegetabile Kost, wo durch die Sprengung der Zellmembranen die Nahrungsstoffe der chemischen Auflösung erst zugänglich gemacht werden. Im Gegensatz zu vielen Tieren haben beim Menschen die Lippen nur die Aufgabe, den Mundschluß herbeizuführen, während sie bei den Tieren Greifwerkzeuge darstellen. Der Nahrungsaufnahme geht stets eine Öffnungsbewegung voraus, deren Größe sich nach der jeweiligen Größe des Bissens richtet. Die Größe eines Bissens beträgt nach Gaudenz (13) 5 ccm. Falls abgebissen werden soll, tritt zu der Öffnungsbewegung eine nicht unbedeutende Vorschiebung des Unterkiefers, die je nach Zähigkeit der Nahrung weit über die Kopfbißstellung der Schneidezähne hinausgehen kann. Wenn die Nahrung zwischen die beiden Zahnreihen gebracht worden ist, kommt es zum Schluß der Kiefer und einem gleichzeitigen Zurückgleiten des Unterkiefers. Dabei wirken die Schneidezähne in der ersten Phase wie eine Zange, die die Nahrung zusammenpreßt, und in der zweiten Phase beim Zurückgleiten des Unterkiefers findet ein Herausbrechen des Bissens statt. Der größte Widerstand und somit die größte Kraftentfaltung herrscht im Moment der Abtrennung des Bissens, was daraus hervorgeht, daß in diesem Moment bei Prothesenträgern das Gebiß abgehebelt wird (Rumpel [27]). Die Zunge, auf der der Bissen jetzt ruht, schiebt ihn bei der nächsten Öffnungsbewegung unter Eckzähne und Prämolaren. Bei großen Bissen findet hier eine grobe Zerkleinerung statt, sodaß jetzt die Möglichkeit gegeben ist, daß beide Seiten an dem weiteren Kaugeschäft teilnehmen. Sieht man sich die Schneidezähne auf ihre Form hin an, so sieht man, daß sie Schaufel- bzw. Meißelform aufweisen, während die Eckzähne eine Kegelschneide aufweisen,

die eine bessere Kraftausnützung gewährt (Mühlreiter [22]). Mollier wies auf die Tatsache hin, daß besonders bei zäher Nahrung auch die Halsmuskulatur in Tätigkeit tritt, die durch seitliche Kopfbewegungen einen Zug auf die Nahrung ausübt. Ähnliches, wenn auch in viel ausgeprägterem Sinne, zeigt sich beim Raubtier. Zuweilen zeigt sich das Kauen als Öffnungs- und Schlußbewegung des Unterkiefers, was sowohl physiologisch als auch pathologisch bedingt sein kann. Ohysiologisch dann, wenn die Nahrung kein weiteres Kauen zuläßt. Pathologisch, wenn Stellungsanomalien der Zähne vorliegen. Wie z. B. Tiefbiß, d. h. die oberen Schneidezähne überdecken die unteren fast ganz. Die häufigsten Bewegungen dagegen sind die Mahlbewegungen, die darin bestehen, daß sich der Unterkiefer seitlich vor- und zurückschiebt. Zwischendurch wird das mahlende Kauen wieder vom Hackbiß kurz unterbrochen. Ich neige zu der Ansicht, daß es sich hierbei um eine Ruhepause der Muskulatur handelt. Die Nahrungsteile, die sich während des Kauens in das Vestibulum oris einschieben, werden durch den buccinatorius wieder zurückgedrängt, auch die leichte Saugwirkung, die dadurch entsteht, daß die Lippen geschlossen bleiben, sorgt für ein Zurückdrängen der Speisen aus dem Vestibulum. Beim eigentlichen mahlenden Kauen unterscheidet Gysi (16) 4 Phasen:

1. Der Kiefer wird leicht geöffnet. Dabei werden die Wangen etwas nach innen gesaugt und die Speisen zwischen die Zahnreihen geschoben. Bei größeren Bissen wirkt der schon erwähnte aktive Wangendruck mit. Die Öffnungsbewegung geht im Fortschreiten in eine Seitwärtsbewegung über und zwar nach der Seite, die die Arbeitsseite werden soll.
2. Die Kauebene ist seitwärts geneigt und die Mahlzähne stehen, vorläufig zwar noch in Abstand, Höcker auf Höcker.
3. Jetzt setzt die Schließbewegung ein, wobei der Unterkiefer zunächst noch seine Schrägstellung beibehält. Die Nahrung wird so zwischen den sich in Höcker-Höckerstellung befindlichen Zähnen eingeklemmt und so ein gewaltiger Quetschdruck ausgeübt. Bei nichtfaserigem Material kann es jetzt zur Ausstanzung von Rhombischen Teilen aus dem Bissen kommen (Rumpel). Befindet sich auf der Balanceseite auch Speise zwischen den Zähnen, so tritt hier ein ähnlicher Vorgang ein, nur daß die

Quetschwirkung viel geringer ist, da sich die Höcker weiter auseinander befinden.

4. Die Zähne gleiten mit großer Kraft in die Schlußbißstellung zurück. Sie kommt dadurch zustande, daß der schräg gelagerte Unterkiefer in die Ruhestellung der Zähne zurückgeht. Es tritt dabei eine starke Schneidewirkung auf, die für zähe Speisen notwendig ist.

Nach Gysi ist also Quetsch-, Mahl- und Schneidewirkung in einem Arbeitsgang enthalten. Gysis Anschauung ist allgemein anerkannt. Strasser (29) glaubt zwar, daß die 3. und 4. Phase nur ein kraftvoller Akt sei. Müller (23) glaubt, daß die Zunge das Organ sei, das feststelle, ob die Nahrung genügend gekaut sei. Gaudenz (13) weist noch darauf hin, daß außer der sehr empfindlichen Zungenspitze die Zähne, die Gaumen- und Wangenschleimhaut, sowie die Muskelsehnen an der Feststellung beteiligt sind. Sieht man davon ab, den Kauakt in Phasen zu zerlegen, so ergibt sich etwa folgendes Bild: Der Bissen wird durch die verschiedenen schon erwähnten Kräfte und die Zunge zwischen Eckzähne und Prämolaren gebracht, die das Zerhacken besorgen. Diese sind dazu besonders geeignet, da ihre Kronen eine breitere Fläche als die Schneidezähne zeigen, die aber trotzdem noch große, spitze und scharfe Höcker aufweisen. Als Kraft wirkt der Quetschdruck, der hervorgebracht wird durch das Zusammenwirken aller Schließmuskeln. Zu einer Zerlegung des Bissens kommt es hier wohl meistens nicht. Es handelt sich vielmehr um eine Auflockerung der Nahrung. Das Zerkleinern fällt den Mahlbewegungen zu. Hierfür ein eigenes Schema anzugeben ist nicht möglich, da, solange der Bissen noch groß genug ist, die Bewegungen sehr unregelmäßig sind, denn es fehlt ja die Führung der Kiefer. Erst wenn die Kieferführung wieder von den Zahnhöckern übernommen wird, bietet das Bild wieder einheitlichere Bahnen. Während der Mahlbewegungen auf der Arbeitsseite schiebt sich die schon behandelte Nahrung zwischen die Zähne der Balanceseite, die dann zur Arbeitsseite wird (Strasser [29]). Durch die abwechselnde Benutzung beider Kieferseiten wird Arbeit gespart, denn es erübrigt sich, den Bissen etwa mit der Zunge auf die andere Seite zu bewegen. Die Zahl der Kaubewegungen hängt einmal von der Nahrung ab, dann aber auch von der gleichzeitigen Flüssigkeitszufuhr. Nicht zuletzt hängt die Zahl der Kaubewegungen von dem Gebißzustand ab. Hier können wir

zwei Stadien unterscheiden, die eine erhöhte Zahl von Kaubewegungen erfordern. Einmal das lückenhafte Gebiß. Zweitens das Gebiß, dessen Zähne starke Abbrasionsflächen aufzeigen, wodurch die schneidende Kraft, die den Höckern zukommt, verloren geht. Außer den Hack- und Mahlbißbewegungen sprechen Villain (32) u. a. noch von einer zirkumduktorischen Kaubewegung. Bobin (5) lehnt diese strikt ab. Wann liegt nun eine zirkumduktorische Kaubewegung vor?

Nur dann können wir davon sprechen, wenn jeder Punkt der Kaufläche eine Verkehrsbahn in der Kauebene beschriebe, die zusammengesetzt ist aus aufeinanderfolgender vorwärts-seitwärts-rückwärts und rückläufig-seitwärts gerichtete Bewegung, sodaß die Bahn eine rechteckige bis ovale oder runde Figur darstellt. Wie kommt es nun zu der verschiedenen Ansicht der Autoren? Die Beobachter der zirkumduktorischen Bewegung haben ihre Beobachtung am weitgeöffneten Unterkiefer angestellt, der solche Bewegungen ausführen kann. Aber bei der Okklusion der Zähne ist die Unterkieferbewegung ja sehr eingeschränkt. Man kann also mit Bobin sagen, daß diese Bewegung beim Kauen keine Rolle spielt.

Die Kauleistung.

Die Kauleistung hängt von drei Faktoren ab: Von dem dabei aufgewandten Druck, von der Anzahl der Kaubewegungen und zuletzt von der Beschaffenheit der Werkzeuge. Beim Kaudruck können wir zwei Größen unterscheiden: den absoluten und den tatsächlich geübten Druck. Fick (12) berechnete den absoluten Kaudruck auf 400 kg. Seine Untersuchungen gehen auf Weber (35) zurück, der fand, daß der Nutzeffekt eines Muskels der Masse der Muskelsubstanz proportional ist und daß die Faserlänge der Muskeln das Maß der Größe der Muskelbewegung, der Querschnitt der Muskeln, das Maß der Muskelkraft ist. Den durchschnittlichen Querschnitt der Kaumuskeln setzt Fick wie Weber auf 40 ccm fest. Der Wert ist nicht gemessen, sondern errechnet. Als Muskelkrafteinheit nimmt Fick 10 kg an. Eine Zahl, die er von Du Bois-Reymond (7) übernahm, der sie schon aus unsicheren Quellen übernommen hatte. Die Messungen von Knorz-Henke (20) ergaben denn auch eine andere Zahl. Nämlich 8,167 kg bis 8,991 kg. Der Unterschied ist durch die verschiedene Ausbildung der untersuchten Muskeln be-

dingt. Die Messung wurde an Ellenbogenbeugern ausgeführt. Die beiden Zahlen haben ihre Gültigkeit beim mittleren Verkürzungsgrad. Es wurde weiter festgestellt, daß die Muskelkrafteinheit mit Verkürzung der Muskel abnimmt. Tholuck (31) nimmt deshalb für die Kaumuskulatur, deren Leistung in sehr stark verkürztem Zustand erfolgt, die Zahl von 2 bis 2,5 kg an. Daraus ergibt sich dann ein Quetschdruck von 80 bis 100 kg. Seine Annahmen werden durch die Beobachtungen gestützt, daß ein epileptisches Mädchen im Anfall die Zähne in eine Kautschukplatte eingrub und die nachträgliche Messung des Eigendruckes nach Brinell etwa eine Krafteinwirkung von 65 kg ergab. Ein späteres Nachprüfen durch das Aufbeißen von Kirschkernen, deren Festigkeit Riechelmann (25) auf 47 bis 60 kg setzt, ergab die Richtigkeit der ersten Messung. Diese letzte Feststellung wurde so gemacht, daß der N. mandibularis durch eine Leitung ausgeschaltet wurde, sodaß also die größte Kraft entwickelt werden konnte. die Empfindlichkeit des Periodontirms verhindert nämlich die Ausübung der ganzen Kraft. Da der Unterkiefer bekanntlich als Hebel wirkt, und da die Druckauswirkung von der Größe der Fläche abhängt, kommt Eckermann (8) zu dem Ergebnis, daß der Druck am 3. Mahlzahn doppelt so groß ist, als am Schneidezahn. Barth stellte diesbezügliche Messungen an und fand, daß der größte Druck im Oberkiefer, zwischen dem 1. und 2. Molar, im Unterkiefer beim 1. Molar zu finden ist. Ihre Messungen werden weiter durch die Anordnung der Trajektorien gestützt, die an den angegebenen Stellen die größte Kraftbeanspruchung zulassen. Wie kommt es nun, daß die Überlegungen von Eckermann in der Praxis nicht stimmen, denn nach ihm müßte der größte Druck ja am 3. Mahlzahn ausgeübt werden? Tholuck erklärt das damit, daß die Wurzelhaut des vielfach schlecht ausgebildeten 3. Molaren viel empfindlicher ist. Wie sind nun die großen Unterschiede, die man bei den einzelnen Autoren findet, zu erklären?

Der Kaudruck hängt ab:

1. von der Körperkraft,
2. vom Geschlecht,
3. vom Alter,
4. von der Rasse,

wie die Untersuchungen von Tholuck dartun.

Ein zweites Moment, das die Unterschiede bedingt, ist die verschiedene Meßmethode. Die einen nehmen Nüsse und Obst-

kerne, von denen man immer nur eine mittlere Festigkeit festsstellen kann. Andere wieder benutzen einen Apparat, der aus zwei Platten besteht, zwischen denen sich eine Feder befindet, deren Formveränderung in irgendeiner Weise die aufgewandte Kraft zeigt. So Arnone (1), Black (4) und Hentze (18). In dem Verwenden einer Feder liegt natürlich eine Fehlerquelle. Sauer (28) u. a. messen die Kraft, die notwendig ist, die Muskelkraft der festgeschlossenen Kiefer zu überwinden. Sie führen zu diesem Zweck eine Eisenplatte in den Mund ein, die mit Gewichten belastet wird. Nach meiner Ansicht liegen die Fehler der Methode darin, daß es unmöglich ist, auf eine im Mund befindliche Eisenplatte mit voller Kraft aufzubeißen, denn wie schon erwähnt, ergeben die Verbindungslinien aller Zähne keine Ebene, da wir eine sagittale und transversale Neigung der Zähne haben. Somit ruht die in den Mund eingeführte Platte nur auf einigen Unterstützungspunkten und damit ist die Unmöglichkeit einer Druckverteilung gegeben. Dieser Fehler könnte durch eine elastische Platte ausgeglichen werden. Aber auch dann ergeben sich noch Fehler, da die Kräfte ja außerhalb der Zahnreihen angreifen und nicht im Molarengebiet, wo der größte Druck ausgeübt werden kann. Ettling (9) gibt wohl die beste Methode an. Er mißt den Eindruck, den eine Stahlkugel in einem Zinnplättchen hervorruft, wenn beide durch die Schließmuskeln des Kiefers zusammengepreßt werden. Dabei ist die Härte des Zinnplättchens bekannt. Es ist also die Umkehrung des Brinellschen Verfahrens. Die Höhe des angewandten Druckes wird natürlich von der Art der Speise abhängen. Blacks (4) Untersuchungen, die er mit aus Stahl nachgebildeten Zähnen machte, ergaben folgende Werte:

Gebratenes Schweinefleisch	9—15 kg.
Gebratenes Kalbfleisch	13—18 kg.
Gekochtes Rindfleisch	13—15 kg.
Kandiszucker	13—22 kg.
Zusammengeballte Brotrinde	über 159 kg.

Nun kann aber ein Druck von 159 kg im Munde nicht erzeugt werden. Hier muß also eine andere Kraft mitwirken. Diese Kraft ist der Mahldruck, der darin besteht, daß zu der Druckkraft noch eine Zugkraft hinzutritt. Hierbei sehen wir zwei Kräfte am Werk; einmal eine Druckkraft, die den Bissen festhält und in senkrechter Richtung von unten nach oben wirkt. Und zweitens eine Zugkraft, die den Widerstand der Reibung überwindet und in wagerechter Richtung wirkt.

Tholuck erhielt für den Mahldruck, den er an einem in einen Artikulator eingesetzten Gebiß maß, folgende Größen:

Weizenbrot	3,6 kg,
Äpfel	4,9 kg,
Schinkenbrot	6,7 kg,
Rettich	6,8 kg.

Also Größen, die ohne Schwierigkeiten im Munde hervorgebracht werden können. Aber auch dieser Druck wird nicht angewandt, da die Speisen eingespeichelt werden und so der Druck noch niedriger sein kann. Ferner wird bei noch niedrigerem Druck und längerem Kauen derselbe Effekt erzielt. Diese ganzen Feststellungen beziehen sich auf ein vollständiges Gebiß. Bei einem defekten Gebiß muß der Kaudruck selbstverständlich höher sein, oder die Kauzeit länger. Auch durch den künstlichen Ersatz wird die Möglichkeit, den vollen Kaudruck auszunutzen, nicht gegeben. Ein oberer totaler Ersatz mag dagegen einen größeren Druck ausüben, als ein unterer, denn die tragende Fläche ist bei einem oberen Ersatz ja größer. Aber auch bei einem oberen Ersatz sind Grenzen gegenüber dem physiologischen Gebiß gegeben, da der Druck auf die Schleimhaut geleitet wird, die nicht so stark komprimiert werden kann wie die Wurzelhaut, die durch den Aufhängeapparat des Zahnes entlastet wird. Auch der sog. physiologische Ersatz, z. B. eine Brücke bietet nie einen vollwertigen Ersatz für verlorengegangene Zähne, da ja hier der Druck auf einzelne Pfeiler übertragen wird, die so mehr belastet werden. Die Verhältnisse werden um so günstiger sein, je mehr Pfeilerzähne stehen.

Schlußwort.

Aus den vorliegenden Ausführungen geht hervor, daß es sich beim Kauvorgang um einen recht komplizierten Mechanismus handelt, der noch nicht ganz geklärt ist. Es ist nämlich sehr schwer, einen Apparat zu konstruieren, der die Verhältnisse genau wiedergibt. So muß man sich zum größten Teil auf Beobachtungen und Überlegungen stützen. Die Verschiedenheit der Auffassungen erklärt sich daraus, daß einmal der Anatom die Sachen zu klären suchte, einmal der Prothetiker. Feststeht, daß die Bewegungen nicht um eine feste Achse stattfinden und daß die wandernden Momentanachsen wieder individuell verschieden sind. Diese Erkenntnisse wurden beim Bau der Artikulatoren verwendet, die

obwohl sie die Verhältnisse nicht genau wiedergeben, doch dazu geeignet sind, gute Resultate in der Prothetik zu liefern, wenn man versteht, sie richtig anzuwenden.

Ich möchte nicht versäumen, an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Hahn für die freundliche Überlassung der Arbeit und für seine Unterstützung bei der Anfertigung zu danken.

Schrifttum.

1. Arnone: Dinamometro Oris. La Stomatologia, Jahrg. 1906, Heft 1.
2. Barth: Über die funktionelle Struktur des Oberkieferapparates. Anat. Hefte, Bd. 56, J. 1918.
3. Benninghoff: Verhandl. d. anat. Ges. Wien. 34. Erg.-Bd. zu Anat. Anz. 1925.
4. Black: An investigation of the physical charakters of the human teeth in relation their diseases, and to practical dental operations, to gether with the physical characters of filling-materials. The Dental-Cosmos, J. 1895, Heft 5 bis 9.
5. Bobin: Cpt. rend. hebdom. des scanses de l'acad. des sciances.
6. Chissim: Über die Öffnungsbewegung des Unterkiefers. Arch. f. Anat. (u. Physiol.) 1906.
7. Du Bois Reymond: Gelenkbewegung. — Spezielle Muskelphysiologie. — Stehen und Gehen. Ergebnisse der Physiologie, J. 2, Abt. 2.
8. Eckermann: Physiologische Bedeutung der Kieferbelastung und ihre Ermessung. Dtsch. Monatsschr. f. Zahnheilkunde, J. 1911, H. 9.
9. Ettling: Mit wieviel Gewicht beißt der Mensch? Dtsch. Mschr. f. Zahnheilk. J. 1891, H. 12.
10. Fabian: Studien zur Kaufunktion. Dtsch. Zahnheilk. 1925, H. 65.
11. Fehr: Das Artikulationsproblem und ein neuer Artikulator. — Dtsch. zahnärztl. Wschr. 1921, Nr. 32.
12. Fick: Handbuch d. Anat. u. Mech. der Gelenke. 1904, Bd. 1.
13. Gaudenz: Über die Zerkleinerung und Lösung der Nahrungsmittel beim Kauakt.
14. Gebhardt: Vergleichende Untersuchung über die Zahl der Dentinkanälchen im bleibenden menschlichen Gebiß. Zahnärztl. Diss., Frankfurt, 1922.
15. Gysi: Prothesen mit Anatoformzähnen. Schweiz. Vierteljahresschr. f. Zahnheilk. Bd. 25, Jahrg. 1915.
16. Gysi: Beitrag zum Artikulationsproblem.
17. Henke: Handbuch d. Anat. und Mechanik der Gelenke mit Rücksicht auf Luxationen und Kontraktionen.
18. Hentze: Kiefer- und Zahnerkrankungen und ihre Beurteilung vom militärärztl. Standpunkte. Jahrb. d. Hamburg. Staatskrankenanstalten 1917.
19. Hoffmann u. Rauber: Lehrb. d. Anat. des Mensch.
20. Knorz-Henke: Die Größe der absoluten Muskelkraft aus Versuchen neu berechnet. Ztschr. f. ration. Medizin, 3. Reihe, Bd. 24.

21. Luschka: Die Anatomie des menschl. Kopfes.
22. Mühlreiter: Anatomie des menschl. Gebisses.
23. Müller: Grundlagen und Aufbau des Artikulationsproblems.
24. Piette: Zahnstruktur als Kraftfeld. Anat. Anz. Bd. 56, 1923.
25. Riechelmann: Beitrag zur systemat. Prothetik.
26. Riegner: Die Physiologie und Pathologie der Kieferbewegungen. Dies Archiv 1903, Anat. Abteilung.
27. Rumpel: Das Artikulationsproblem. — Dtsch. Mschr. f. Zahnheilk. Jahrg. 1913, Bd. 31.
28. Sauer: Mit wieviel Gewicht beißt der Mensch? Dtsch. Monatsschr. f. Zahnheilkunde. J. 1891, Heft 12.
29. Strasser: Lehrb. der Muskel- und Gelenkmechanik.
30. Testut: Traitè d' Anatomie humanie. Jahrg. 1899.
31. Tholuck: Der Kaudruck. — Dtsch. Zahnheilk. Jahrg. 1923. H. 59.
32. Villain: Mèchanisme de la mstaication humaine. Rev. belge de la stomatologie.
33. Walkhoff: Unterkiefer der Antropomorphen und der Menschen.
34. Wallisch: Das Kiefergelenk. — Österr.-Ungarische-Vierteljahresschr. d. Zahnheilk. Jahrg. 1903, Bd. 19 und Jahrg. 1919, Bd. 25.
35. Weber: Über die Gewichtsverhältnisse der Muskeln des menschl. Körpers im allgemeinen. Berichte über die Verhandlungen der Kgl. Sächs. Ges. der Wissenschaften zu Leipzig, Jahrg. 1849.
36. Wetzel und Schröder: Der Sicherheitsgrad im Bau des Gesichtsskeletts. Roux' Arch. f. Entwicklungsgeschichte der Organismen, Bd. 105, Jahrg. 1925.
37. Wetzel: Anatomie für Zahnärzte.
38. Winkler: Funktioneller Bau des Unterkiefers. Zeitschr. f. Stomatologie. Jahrg. 1921, Bd. 19.
39. Worthmann: Die Mechanik des Kiefergelenkes. Anat. Anzeigen, Jahrg. 1922, Bd. 55.
40. Zuckerkandl: Anatomie der Mundhöhle.

Lebenslauf.

Ich wurde am 24. Juli 1912 zu Sessenhausen (Westerwald) geboren. Die Volksschule besuchte ich zu Selters und trat Ostern 1924 in die Sexta des Kaiser-Wilhelm-Gymnasiums zu Montabaur ein.

1930 unterbrach ich meine Studien und legte nach privater Vorbereitung am 1. April 1936 in Münster i. W. als Externer meine Reifeprüfung ab. Darauf begann ich mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Universität München, wo ich im Herbst 1939 mein Staatsexamen ablegte.